

CONSOLIDACION DE UN PARADIGMA DE LA FISICA

(CONSOLIDATION OF A PHYSICS PARADIGM)

ALFREDO BASS*

RESUMEN

Este trabajo presenta cómo Einstein debió modificar conceptos considerados inamovibles (masa inercial, masa gravitacional y gravedad), para que una serie de nuevos hechos experimentales, que no cabían en el marco del paradigma de Newton, pudieran ensamblarse en un mundo coherente, regido por un paradigma superador: la mecánica relativista.

Ambos paradigmas, el de Newton y el de Einstein, son abordados con el esquema conceptual que Thomas S. Kuhn describiera en su concepción de las teorías como estructuras, aspecto esencial de cualquier punto de vista histórico del desarrollo del conocimiento.

Se concluye con la propuesta enriquecedora de Einstein acerca de cómo se consolida un paradigma.

ABSTRACT

This paper shows how Einstein had to modify fixed concepts (inertial mass, gravitational mass and gravity) in order to fit a series of new experimental facts into a coherent world ruled by an "improved" paradigm: the relative mechanics paradigm.

Newton's and Einstein's paradigms are approached with the schema that Thomas S. Kuhn described in his theory as structures, which is an essential aspect of knowledge development from any historical point of view.

The paper concludes with Einstein's proposal on how to consolidate a paradigm.

INTRODUCCIÓN

Entre las reflexiones que contribuyeron a forjar la nueva conciencia histórica de la ciencia, alcanzó especial importancia la de Thomas S. Kuhn (1922-1996), especialmente en su libro "La estructura de las revoluciones científicas". Frente a la imagen habitual del desarrollo de la ciencia como un despliegue rectilíneo, no sólo uniformemente enriquecedor, sino infalible en la necesidad lógica de su marcha, la ciencia atravesaría "revoluciones" en que los supuestos teóricos de una época, sus "paradigmas", se mostrarían cada vez más insuficientes para resolver problemas, y serían desplazados globalmente por otro sistema de conceptos e hipótesis, con caracteres de novedad creativa, imprevisible desde la etapa anterior. Se habría gestado un nuevo paradigma.

*Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Salta / Proyecto N° 647 – CIUNSa.

Entonces se procedería a “reescribir” la historia anterior de la ciencia desde cada nueva etapa, para conservar esa imagen rectilínea y necesaria de su avance: falsificación piadosa, conveniente para la tranquilidad de la razón sobre sí misma y para el prestigio modélico de la ciencia física, ya puesto en crisis, sin embargo, por los problemas que afronta la física contemporánea, y, más recientemente, y en otro sentido muy diverso, por la creciente inquietud ecologista ante la posible interferencia de las consecuencias tecnológicas con la esfera biológica.

DE PARADIGMAS Y REVOLUCIONES CIENTIFICAS

Según el esquema de Kuhn, dentro del cual enmarcamos este trabajo, en un primer momento existirían numerosas escuelas competitivas en la investigación de un conjunto de problemas (ya sea, por ejemplo, la naturaleza de la luz o de la electricidad o del movimiento de los cuerpos), pero sin un acuerdo respecto a los métodos a seguir, invocando cada una el conjunto particular de fenómenos que mejor puede explicar su teoría. En determinado momento una de las escuelas logra una síntesis capaz de atraer a la mayoría de los profesionales. Decimos entonces que se ha instaurado un “paradigma”. Comienza entonces un periodo de “ciencia normal” en el cual los científicos explotan la solución lograda como modelo que les permite ir determinando leyes cuantitativas, constantes físicas, etc., y aplicando el paradigma a nuevos campos de interés. En resumen, afrontan y resuelven “enigmas”, o sea problemas que en principio tienen solución dentro del paradigma.

Pero, el paradigma no resuelve todos los problemas. Hay enigmas que se resisten a ser resueltos: son las “anomalías” del paradigma. Si tras un fracaso persistente surge la inseguridad profesional, se pierde la fe en las reglas existentes y empieza la búsqueda de otras nuevas: se habla de que se ha iniciado una “crisis del paradigma”, o sea un periodo de ciencia no ordinaria. En definitiva, que se ha iniciado una “revolución científica”, es decir un episodio de desarrollo no acumulativo a diferencia de la ciencia normal: ella conduce al reemplazo del paradigma en crisis por otro.

Una vez instaurado el nuevo paradigma, se iniciará de nuevo un periodo de ciencia normal, recomenzando el ciclo.

LA TEORÍA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD

El trabajo publicado por Einstein, en 1905 en los Anales de Física se conoce como teoría especial de la relatividad, porque se refiere únicamente a objetos que se mueven en trayectoria rectilínea y a velocidad constante; es decir, se trata de un caso muy particular de movimiento. Pero allí comenzaba a cuestionar el paradigma newtoniano vigente, para que una serie de nuevos hechos experimentales que no cabían en el marco de la formidable construcción de Isaac Newton (que había entrado en crisis) pudieran ensamblarse en un mundo coherente.

La mecánica clásica o newtoniana supone que:

1) el intervalo de tiempo entre eventos es independiente del movimiento del observador;

2) el largo de un cuerpo o el intervalo de espacio es independiente del movimiento del observador.

Pero, no es así: los intervalos de tiempo y espacio son relativos y dependen del movimiento del observador; como lo afirma la mecánica relativista de Einstein.

Newton decía: Los intervalos de tiempo y espacio son absolutos y la velocidad de la luz es relativa.

Einstein afirmó: la velocidad de la luz es absoluta y los intervalos de tiempo y espacio son relativos.

Es decir que Einstein sustituyó los dos absolutos de Newton: espacio y tiempo, por un solo absoluto material: la velocidad de la luz. No hay interacciones instantáneas en la naturaleza; hay una máxima velocidad de interacción que es la velocidad de la luz.

El aporte de Einstein fue revolucionario: cambió los principios de la física tradicional que habían sido aceptados durante los dos siglos anteriores. Y esto lo logró con su teoría de la relatividad especial o restringida.

LA TEORÍA GENERAL DE LA RELATIVIDAD

En realidad, la mayoría de los cuerpos del universo, incluido nuestro planeta y el sistema solar, no se mueven con movimiento rectilíneo y uniforme. Por eso, en su teoría general de la relatividad, publicada en 1916, Einstein expuso un sistema de leyes que también podían aplicarse al movimiento no uniforme. Al tratar este asunto, comenzó a cuestionarse también algo que parecía resuelto desde hacía mucho tiempo: el fenómeno universal de la gravedad. El concepto de gravedad tampoco escapó a la sorprendente crítica de Einstein, quien así avanzaba en la consolidación del nuevo paradigma: la mecánica relativista buscaba afirmarse, desplazando a la mecánica newtoniana.

Según las conocidas leyes de la inercia establecidas por Newton “todo cuerpo continúa en reposo o en movimiento rectilíneo y uniforme, a menos que sea obligado a cambiar su estado por fuerzas exteriores a él”. La aceleración de un automóvil, por ejemplo, nos empuja contra el asiento, y hacia el lado opuesto a la dirección de una curva, pues en ambos casos nuestro cuerpo ofrece resistencia al cambio de movimiento. En la mecánica newtoniana tradicional esta fuerza se consideraba como la manifestación de la “masa inercial” de nuestro cuerpo. Sentimos una fuerza constante, igual a nuestro peso, que nos empuja hacia el centro de la Tierra; Newton la denominó fuerza de la gravedad y asoció a ella la “masa gravitacional”.

Newton concluyó también que si se aplican fuerzas iguales a dos objetos de masas diferentes, el objeto de menor masa experimentará una mayor aceleración que el de masa mayor. En otros términos, es más fácil empujar una bicicleta que un automóvil.

No obstante, existía una curiosa excepción. Según demostró Galileo, dos objetos que caen desde la misma altura experimentan la misma aceleración, cualquiera sea la diferencia de sus masas. (Un pañuelo y una roca pueden caer con velocidades diferentes, pero la causa está en la resistencia del aire; en el vacío, llegan simultáneamente al suelo. Millones de personas vieron por televisión cómo

en la Luna un cosmonauta dejaba caer un martillo y una pluma y cómo llegaban a la vez al suelo). Este hecho presentaba a Newton una dificultad, pues según sus leyes de la inercia, un objeto ligero - es decir, con menor masa inercial - debería ofrecer menos resistencia a la fuerza de la gravedad terrestre - y en consecuencia caer con mayor velocidad - que un objeto de mayor masa. Se trataba - en el lenguaje de Kuhn - de una anomalía del paradigma, que Newton se apresuró a solucionar.

LA GRAVEDAD, SEGÚN NEWTON

Para resolver este problema, Newton formuló su ley de la gravitación universal, diciendo que la fuerza con la cual la Tierra (o cualquier otro cuerpo) atrae a un objeto varía en proporción a la masa de éste. Consiguientemente, el objeto de menor masa es atraído por la gravedad con menor fuerza que el de la masa mayor. Fuerza y masa, por tanto, se hallan en relación directa.

Durante siglos, la masa de un objeto se consideraba constante, ya se midiese por su inercia o por su comportamiento en un campo gravitacional. Sorprendía a Einstein que ambas mediciones coincidiesen invariablemente, a pesar que se obtenían por diferentes métodos y parecían tener distinto significado; le extrañaba que la atracción gravitacional poseyera siempre la fuerza necesaria para vencer la inercia de todos los cuerpos. Llegó, por tanto, a la conclusión de que la masa inercial y la masa gravitatoria no sólo son equivalentes, sino que también son indistinguibles. Y que, además, son idénticas. Y por ello, el movimiento no uniforme es tan relativo como el movimiento uniforme de la relatividad especial.

LA GRAVEDAD, SEGÚN EINSTEIN

Conservando su visión escéptica de las ideas admitidas como indubitables, Einstein desconfiaba profundamente de la noción tradicional de la gravedad como una fuerza invisible que pudiera extenderse a través de millones de kilómetros y tirar de un objeto como la caña de un pescador. Pero, si la explicación de Newton era errónea, ¿en qué consistía la gravedad? Si la gravitación no es la fuerza newtoniana, ¿qué otra cosa es? La respuesta de Einstein fue que un cuerpo, en lugar de tirar de otros objetos, crea un "campo" gravitacional en su entorno - cuanto mayor sea su masa, mayor será el campo - y que en el interior de tal campo la forma del espacio se va alterando de modo regular.

Así pues, una materia que pase cerca de un cuerpo de gran masa no es "atraída" por una "fuerza" hacia una trayectoria "curva"; en realidad proseguiría por el camino más breve, pero el cuerpo de gran masa altera de tal modo el espacio circundante que impide cualquier curso rectilíneo en sus proximidades.

Aunque la atracción de la gravedad constituye una realidad innegable, supone también uno de los fenómenos físicos de más difícil explicación. Como en muchos otros temas, Einstein basó su análisis de la gravedad en una sencilla intuición. Si colocamos un pomelo sobre una tela extendida en un bastidor, la superficie se hundirá; si a continuación hacemos rodar una naranja sobre la lona, evolucionará sin duda alguna alrededor del pomelo. Un observador distante que no advierta el

combamamiento de la lona, llegará como Newton a la conclusión de que el pomelo ejerce una atracción invisible sobre la naranja. Sin embargo, otro observador situado junto a la lona comprenderá inmediatamente que la trayectoria curva de la naranja se debe al hundimiento de la lona. Así fue, en esencia, la concepción de Einstein sobre la gravedad: los cuerpos alteran en su entorno el espacio y el tiempo.

En 1919 los astrónomos pudieron observar el comportamiento de una estrella que pasó junto al disco solar durante un eclipse total. El suceso confirmó sorprendentemente las ideas de Einstein. La estrella pareció desplazarse ligeramente porque su luz fue desviada al cruzar el campo gravitacional del sol, como Einstein lo había previsto. Cuando el astrónomo Arthur Eddington comunicó a Einstein que los resultados de las observaciones habían confirmado plenamente su teoría, el físico teórico sonrió; se hubiera sorprendido únicamente si los resultados hubieran sido negativos.

CONCLUSIÓN

Mientras el mundo científico consideraba atentamente la relatividad, especial y general, Einstein se abocó a trabajar en una nueva teoría. En la teoría especial se había ocupado de los campos electromagnéticos; en la teoría general había estudiado el espacio exterior de las estrellas y las galaxias, un universo gobernado por campos gravitacionales. Una y otra teoría tenían su propio sistema de leyes y ecuaciones y, en conjunto, formaban una descripción más adecuada de la realidad física que la ofrecida por cualquier explicación anterior. Sin embargo, Einstein estaba insatisfecho porque no constituían un sistema único. Ese sistema único al que dedicó sus pensamientos fue la "teoría del campo unificado". Pero, esa es otra historia que trataremos de abordar en otra ocasión.

Haciendo una interpretación kuhniana de lo expuesto, que es otro objetivo de este trabajo, podemos observar como la reescritura de la historia de la ciencia no es rectilínea, sino que se muestra así, porque responde a la concepción de la historia como relato, lo cual es criticado por Kuhn.

La teoría de Einstein que expusimos es, además, un buen ejemplo acerca de cómo la consolidación de un nuevo paradigma implica, en cierta forma, una contrastación permanente con el paradigma vigente.

Históricamente, a partir de 1905 la teoría de la relatividad de Einstein surge como un nuevo paradigma de la física que comienza a desplazar a la mecánica newtoniana, que era el paradigma vigente, que atravesaba una crisis. Pero, para los científicos que investigaban en las fronteras de la física, donde se estudiaban problemas que involucraban velocidades muy elevadas (menores, pero próximas a la de la luz), recién es aceptada de modo incuestionable a partir de 1916, cuando Einstein enuncia su teoría de la relatividad general, donde aborda problemas de cuerpos que se mueven con movimiento acelerado (donde la velocidad cambia y no se mantiene constante), y además explicaba el fenómeno de la gravedad, con el concepto de campo. En ese sentido hablamos de consolidación del nuevo paradigma.

BIBLIOGRAFÍA

KUHN, T.S. (1971) La estructura de las revoluciones científicas; Fondo de Cultura Económica, México.

BERNSTEIN, J (1991) Einstein: el hombre y su obra; Mc Graw Hill, Madrid.

EINSTEIN, A (1971) La relatividad; Grijalbo, México.